

Лабораторная работа №17.

Поляризация света. Закон Малюса. Угол Брюстера.

Цель работы: Изучение поляризации света при отражении и преломлении:

1. Определение степени поляризации излучения лазера,
2. Проверка закона Малюса,
3. Определение угла Брюстера при отражении света от стекла,
4. Определение степени поляризации света при преломлении.

Оборудование: Модульный учебный комплекс МУК-ОВ.

Общие сведения.

Естественный свет (солнечный свет, свет ламп накаливания и др.) есть совокупность световых волн со всевозможными направлениями плоскостей, в которых происходят колебания вектора \mathbf{E} , перпендикулярных к направлению распространения, быстро и беспорядочно сменяющимися друг друга. Такой характер колебаний обусловлен спецификой излучения света. Излучение светящегося тела складывается из волн, испускаемых его атомами. Процесс излучения отдельного атома длится около 10^{-8} с. За это время испускается пучок волн протяженностью примерно 3 м. Через некоторое время после излучения атом возбуждается и снова начинает излучать. Пучки волн, излучаемые ими, накладываются друг на друга, образуя световую волну. Одновременно наблюдаются излучение огромного числа атомов, посылающих свет с различным направлением плоскости колебаний векторов \mathbf{E} и \mathbf{H} . Кроме того, в естественном свете наблюдается быстрая смена ориентацией этих плоскостей.

Свет, направление колебаний в котором упорядочены каким-либо образом, называют поляризованным. Свет, в котором имеется единственное направление колебаний вектора \mathbf{E} (а, следовательно, и \mathbf{H}), называют плоско поляризованным (или линейно поляризованным). Если конец вектора \mathbf{E} описывает эллипс – эллиптически поляризованным. В случае если конец вектора \mathbf{E} описывает окружность, свет называется поляризованным по кругу.

Изучение поляризованного света выполняется с помощью поляризационных приборов. Если поляризационный прибор используется для получения поляризованного света из естественного, то он называется *поляризатором*. Если же он используется для анализа поляризованного света, то называется *анализатором*. То есть является данное устройство поляризатором или анализатором зависит только от того, для чего оно используется в конкретном опыте. В данной работе в качестве поляризатора и анализатора используются поляроиды. Так называются изготовленные из специальной плёнки светофильтры, действие которых основано на явлении двойного лучепреломления.

Для проведения анализа поляризованного света необходимо вращать анализатор вокруг направления луча и измерять интенсивность прошедшего света.

Свет, в котором имеется преимущественное направление колебаний вектора \mathbf{E} , но при этом имеются и другие направления колебаний, называют частично поляризованным. Степень поляризации частично плоско поляризованного излучения определяется по формуле:

$$P = \frac{I_{\max} - I_{\min}}{I_{\max} + I_{\min}} \quad (1)$$

где I_{max} и I_{min} – соответственно максимальное и минимальное значения интенсивности проходящего света.

Ещё одним способом получения поляризованного света (помимо двойного лучепреломления) является его отражение и преломление на границе раздела двух изотропных диэлектриков. Пусть на границу раздела диэлектриков 1 и 2 падает естественный свет. Отраженный и преломленный лучи оказываются частично поляризованными. В отраженном луче преобладают колебания, перпендикулярные к плоскости падения, в преломленном – параллельные этой плоскости.

Если свет падает на границу раздела двух сред под углом Брюстера, то отраженный луч полностью поляризован в перпендикулярном направлении, преломленный же луч остаётся поляризован частично, однако степень его поляризации достигает наибольшего значения. Угол между преломленным и отраженным лучами составляет 90^0 . Если преломленные лучи подвергнуть второму, третьему и т.д. преломлениям, то степень поляризации преломленных лучей возрастает. Если имеется 8-10 пластинок (стопа Столетова), то при падении под углом Брюстера и отраженный и прошедший свет практически оказываются полностью поляризованными.

Если на границу раздела двух диэлектриков под углом Брюстера падает плоско поляризованный свет (например, излучение лазера) с направлением колебаний вектора E в плоскости падения волны, то отраженная волна отсутствует. Это объясняется тем, что в падающей волне нет колебаний светового вектора в перпендикулярной плоскости, необходимых для создания отраженной волны.

Угол Брюстера определяется следующим соотношением:

$$\operatorname{tg} \alpha_{Br} = n_{12} \quad (2)$$

где n_{12} – показатель преломления второй среды, относительно первой.

Это соотношение носит название закона Брюстера.

Излучение лазера, которое исследуется в лабораторной работе – частично поляризованное.

Если на анализатор падает плоско поляризованный свет, то интенсивность прошедшего света I_p определяется законом Малюса:

$$I_p = I_0 \cos^2 \varphi \quad (3)$$

где I_0 - интенсивность света, падающая на анализатор, φ – угол между плоскостью колебаний вектора E и плоскостью пропускания анализатора.

Указания по проведению измерений

1. Определение степени поляризации излучения полупроводникового лазера

1.1. Включить лазерный источник, соблюдая правила техники безопасности. Верхнюю турель установите так, чтобы излучение выходило беспрепятственно;

1.2. На фотоприёмнике установите диапазон $\lambda_d = 0.4..1.2$ мкм;

1.3. На пути лазерного луча поворотом турели поместите анализатор (*или* поляризатор)

1.4. Вращая анализатор (или поляризатор) и непрерывно следя за показаниями цифрового индикатора интенсивности измерить максимальное I_{max} и минимальное I_{min} . значения относительной интенсивности проходящего излучения. Измерения выполнить три раза. Результаты записать в таблицу 1.

2. Проверка закона Малюса

Схема установки для проверки закона Малюса состоит из источника света – лампы накаливания (белый свет) поляризатора, анализатора, фотоприёмника;

2.1. Включить лампу белого света. Вращая верхнюю турель установить её так, чтобы излучение выходило беспрепятственно. Поворачивая соответствующие турели установить поляризатор и анализатор. Вращая поляризатор и анализатор в оправках установить их таким образом, чтобы стрелки указателей угла поворота указывали на ноль. Убедиться, что такому состоянию соответствует максимальный отсчёт регистратора интенсивности;

2.2. На фотоприёмнике выбрать диапазон $\lambda_3 = 0.4..0.9$ мкм;

2.3. Вращая анализатор, снять зависимость относительной интенсивности I_φ от угла поворота анализатора φ через каждые 10° от $\varphi = 0^\circ$ до $\varphi = 150^\circ$ (всего 16 точек, можно вращать либо по часовой стрелке, либо против);

Результаты измерений занести в таблицу 3;

3. Определение угла Брюстера для стекла

Для определения угла Брюстера используется устройство, содержащее вращающуюся стеклянную пластинку, отражённый свет от которой падает на матированную пластинку с измерительной шкалой.

3.1. Включите лазерный источник света, строго соблюдая порядок включения и правила техники безопасности;

3.2. Поворотом верхней турели по ходу луча установите поляризатор;

3.3. Стрелку поляризатора, установите на 0° . Теперь после поляризатора распространяется свет, плоскость колебаний светового вектора E в котором лежит в плоскости падения его на стеклянную пластинку;

3.4. Поворотом расположенной ниже турели установите по ходу луча стеклянную пластинку;

3.4. Вращая стеклянную пластинку вокруг горизонтальной оси с помощью расположенных на ее оси ручек наблюдайте за изменениями интенсивности луча лазера, отраженного на вертикальную шкалу;

3.5. Установите пластинку под углом Брюстера. При этом интенсивность отраженного луча достигает минимума. Определите по шкале численное значение полученного угла α_{Br} .

4. Определение степени поляризации преломлённого света

4.1. Включите источник белого света;

4.2. Не меняя угла поворота пластинки установите приспособление для измерения угла Брюстера на пути белого света;

4.3. Установите между стеклянной пластинкой и окном фотоприёмников анализатор, повернув соответствующую турель. Нажатием кнопки подключите фотоприёмник с широким

рабочим диапазоном длин волн $\lambda_3 = 0.4..0.9 \text{ мкм}$. Вращая анализатор, зафиксируйте и запишите максимальное I_{max} и минимальное I_{min} значения интенсивности света;

Опыт выполните три раза;

Результаты измерений занесите в таблицу 4.

Указания по обработке измерений

1. Заполните Таблицу 1 и рассчитайте по ней выборочным методом степень поляризации излучения полупроводникового лазера $P = \bar{P} \pm \Delta\bar{P}$, для $N=3$. Сделать вывод относительно поляризации лазерного излучения;
2. Выполнить вычисления в Таблице 3. На миллиметровой бумаге на одном графике построить зависимости значений I_φ/I_0 и $\cos^2\varphi$ от угла φ . Сделать вывод о справедливости закона Малюса в данном опыте;
3. Используя полученное в п.3.5 значение угла Брюстера по формуле (2) определить показатель преломления стекла n_{21} . Результат сравнить с табличным значением;
4. Заполните Таблицу 4 и рассчитайте по ней степень поляризации частично поляризованного света, преломленного стеклянной пластинкой (как в п.1). Полученный результат сравнить с табличным значением.

Отчёт по лабораторной работе 17:

Поляризация света. Закон Малюса. Угол Брюстера.

Таблица 1. Выборка значений степени поляризации излучения лазера.

$$\theta_I = 0.01$$

Номер измерения	I_{max}	I_{min}	$P = \frac{I_{max} - I_{min}}{I_{max} + I_{min}}$	$\theta_p = \frac{2\theta_I}{I_{max} + I_{min}}$
1				
2				
3				

Таблица 2. Обработка данных косвенных измерений выборочным методом.

$$N = 3, \beta_{P,N} = 1.30.$$

Формула	$\bar{f} = \frac{1}{N} \sum f_i$	$R_f = f_{max} - f_{min}$	$\Delta f_\beta = \beta_{P,N} R_f$
$f = P$			

Таблица 2. (продолжение)

$\theta_f = \frac{1}{N} \sum \theta_{fi}$	$\bar{\Delta f} = \Delta f + \theta_f$	$f = \bar{f} \pm \bar{\Delta f}$	$\delta f = \frac{\bar{\Delta f}}{\bar{f}} 100\%$

Таблица 3. Проверка закона Малюса

φ^0	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150
$\cos^2 \varphi$	1	.97	.88	.75	.59	.41	.25	.12	.03	0	.03	.12	.25	.41	.59	.75
$I_\varphi * 10^3$																
I_φ / I_0	1															

Таблица 4. Выборка значений степени поляризации преломлённого света

$$\theta_l = 0.01$$

Номер измерения	I_{max}	I_{min}	$P = \frac{I_{max} - I_{min}}{I_{max} + I_{min}}$	$\theta_p = \frac{2\theta_l}{I_{max} + I_{min}}$
1				
2				
3				

Таблица 5. Обработка данных косвенных измерений выборочным методом.

$N = 3, \beta_{P,N} = 1.30.$

Формула	$\bar{f} = \frac{1}{N} \sum f_i$	$R_f = f_{max} - f_{min}$	$\Delta f_\beta = \beta_{P,N} R_f$
$f = P$			

Контрольные вопросы.

1. Какой свет называют естественным?
2. Какой свет называют линейно поляризованным? Эллиптически поляризованным?
3. Как отличить линейно поляризованный свет от естественного и от света, поляризованного по кругу?
4. В чем состоит закон Малюса?
5. Перечислите способы получения поляризованного света;
6. Какой угол называется углом Брюстера?